

学校编码: 10384
学号: 200430032

分类号____密级____
UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于法拉第效应的偏振型

全光纤电流传感系统的实用化研究

**Research on the Polarimetric All-Fiber Optical
Current Sensor Based on the Faraday Effect**

张海

指导教师姓名: 董小鹏 教授
专 业 名 称: 通信与信息系统
论文提交日期: 2007 年 4 月
论文答辩时间: 2007 年 5 月
学位授予日期: 2007 年 月

答辩委员会主席: _____
评 阅 人: _____

2007 年 4 月

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版,有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅,有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索,有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1. 保密 (), 在年解密后适用本授权书。
2. 不保密 ()

(请在以上相应括号内打“√”)

作者签名: 日期: 年 月 日

导师签名: 日期: 年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

摘 要

光学电流互感器（OCT）是新型的电流互感器，它克服了传统电流互感器的许多缺点，在电力系统中具有广阔的应用前景。本文在全面分析和总结 OCT 发展历史和现有技术水平的基础上，针对实用化要求，确定以光纤电流传感器为研究重点。

光纤因弯曲引入大量的线性双折射，这降低了光纤电流传感器的灵敏度，严重时甚至完全淹没法拉第磁光效应。本文采用退火光纤来做传感光纤，这样不但可以消除由于弯曲引入的线性双折射，还可以降低光纤内在线性双折射。针对反射式光纤电流传感器采用两种集成器件：一体化光纤起偏旋转器件（P-FR）；一体化光纤偏振分束器旋转器件（PBS-FR）。集成器件的使用免除了原先要实现该功能需通过光纤连接两个分立器件带来的问题，大大减小了该功能器件的尺寸，提高了该功能器件的光学性能和稳定性，也降低了器件成本。通过集成器件与退火光纤环结合，提出了三个传感头方案。

参考电力系统的 IEC60044-8 电子式电流互感器标准，设计制作三台光纤电流传感器样机，通过性能实验验证了使用集成器件能提升光纤电流传感器的性能。使用集成器件的样机在准确度实验中基本符合 IEC 0.2 级要求；在温度特性实验中通过校正温度影响实现了温度在 $-40^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 内变化，系统检测结果偏差优于 0.5%。提出采用光学温度计，引入温度参数，通过信号处理自动校正温度影响的设想。

关键词：光纤电流传感器；一体化光纤起偏旋转器件；一体化光纤偏振分束器旋转器件

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

Compared with conventional current transformers, a new kind of current transformer called optical current transformer (OCT) has many distinguished advantages. OCT has a vast application prospect in electric power systems. On the basis of completely analyzing and summarizing the development history and current technical situation, this dissertation emphatically studies fiber optical current sensors (FOCS) for the practicality requirements.

Great linear birefringence produced by fiber bending reduces the sensitivity of FOCS, even submerges the Faraday magnetic-optical effect. This dissertation adopts annealing fiber as the sensing fiber, which can not only eliminate the linear birefringence arose from the fiber bending, but also reduces the inherent linear birefringence of the fiber. Two kinds of integrated devices are used aiming at the reflective fiber optical current sensors. One of them is polarizer-Faraday rotator (P-FR), while the other one is polarization beam splitter-Faraday rotator (PBS-FR). The utilization of integrated devices solves the former problem created by combining two discrete devices with fibers, decreases the dimensions and costs of this function device, increases its optical properties and stability. By uniting integrated devices and annealing fiber loop, the dissertation proposes three design schemes.

According to the standard of electronic current transformer IEC60044-8 in electric power systems, this dissertation designs three samples of FOCS. Their performance tests validate that FOCS capability can be advanced by adopting integrated device. The accuracy tests of Sample 3 with integrated device basically measure up to IEC 0.2 Level. In the temperature characteristic tests, the detecting results indicate that the deviation value is less than 0.5% while the temperature is changes in the range of $-40^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ by temperature revision. This dissertation prospects that temperature effect can be revised automatically by adding temperature parameters during signal processing, and temperature parameters are offered by optical pyrometer.

Key Words: Fiber Optical Current Sensors; Polarizer-Faraday Rotator; Polarization Beam Splitter-Faraday Rotator.

厦门大学博硕士论文摘要库

目 录

摘 要	I
Abstract	III
目 录	V
Contents	VII
第一章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 光学电流互感器的研究背景及意义	1
1.3 光学电流互感器的发展与现状	4
1.3.1 无源型光学电流互感器的研究进展	4
1.3.2 有源型光学电流互感器的研究进展	5
1.4 本文的主要工作、创新之处和文章结构	6
第二章 现有光学电流互感器的几种主要类型和问题讨论	8
2.1 有源型光学电流互感器	8
2.2 光学玻璃电流传感器	10
2.3 光纤电流传感器	11
2.3.1 FOCS 传感头的改进	11
2.3.2 其它类型的 FOCS	12
2.4 本章小结	13
第三章 光纤电流传感器传感原理及传感头设计	14
3.1 光纤电流传感器的传感原理	14
3.1.1 法拉第磁光效应	14
3.1.2 线双折射对光纤电流传感的影响	16
3.1.3 光纤中存在线性双折射的原因	18
3.2 传感光纤的制作	20
3.3 传感头光路的设计	21
3.3.1 方案一	22
3.3.2 方案二	23
3.3.3 方案三	25
3.3.4 方案比较	27
3.4 本章小结	28
第四章 光纤电流传感器各部件的设计	29
4.1 应用在电力系统中光纤电流传感器的设计指标	29
4.2 光纤电流传感器低压侧的设计	30
4.2.1 光源的选择	30
4.2.2 光电转换	32
4.2.3 信号处理电路设计	32
4.2.4 采集系统	33

4.3 样机的电磁兼容设计-----	34
4.3.1 电磁兼容试验项目及其意义-----	34
4.3.2 系统的抗干扰措施-----	36
4.4 本章小结-----	37
第五章 光纤电流传感器的性能实验与结果分析-----	38
5.1 大电流的模拟-----	38
5.2 光纤电流传感器样机的实验结果-----	38
5.2.1 准确度实验及结果分析-----	38
5.2.2 温度特性实验及结果分析-----	41
5.3 自动校正温度影响的设想-----	44
5.4 传感头组装工艺对测量电流精度的影响-----	45
5.5 本章小结-----	45
第六章 总结和展望-----	46
参考文献-----	47
致 谢-----	49
附 录-----	50

Contents

Abstract in Chinese	I
Abstract in English	III
Contents in Chinese	V
Contents in English	VII
Chapter1 Preface	1
1.1 Introduction	1
1.2 Research Background and Meaning of OCT	1
1.3 Development and Status of OCT	4
1.3.1 Research Progress of POCT	4
1.3.2 Research Progress of AOCT	5
1.4 Dissertation Contents, Innovation and Structure	6
Chapter 2 Main Types of OCT	8
2.1 AOCT	8
2.2 BGOCS	10
2.3 FOCS	11
2.3.1 Improvement of FOCS Sensor Head	11
2.3.2 FOCS with Other Type	12
2.4 Summary	13
Chapter 3 Sensing Principle of FOCS and Design of Sensor Head	14
3.1 Sensing Principle of FOCS	14
3.1.1 Faraday Magnetic-Optical Effect	14
3.1.2 Effect of Linear Birefringence on FOCS	16
3.1.3 Causation of Linear Birefringence in Fiber	18
3.2 Implementation of Sensing Fiber	20
3.3 Design of Sensor Head Optical Path	21
3.3.1 Scheme 1	22
3.3.2 Scheme 2	23
3.3.3 Scheme 3	25
3.3.4 Schemes Comparing	27
3.4 Summary	28
Chapter 4 Design of FOCS Components	29
4.1 Design Index of FOCS in Application of Electronic Power System	29
4.2 Design of FOCS Low-Voltage Side	30
4.2.1 Optical Source Selection	30
4.2.2 Optical-Electrical Conversion	32
4.2.3 Signal Processing Circuit	32
4.2.4 Acquisition System	33
4.3 Electromagnetic Compatibility Design of Sample	34
4.3.1 Electromagnetic Compatibility Test and Meaning	34
4.3.2 Design of FOCS Low-Voltage Side	36
4.4 Summary	37
Chapter 5 Performance Test and Result Analysis of FOCS	38
5.1 High-Current Simulation	38

5.2 Test Results of FOCS Samples	38
5.2.1 Accuracy Test and Result Analysis.....	38
5.2.2 Test Results of FOCS Samples	41
5.3 Conceiving of Temperature Effect under Automatic Revision	44
5.4 Effect of Sensor Head Assembling Technic on Current Accuracy Measure	45
5.5 Summary	45
Chapter 6 Conclusion and Prospect	46
Reference	47
Acknowledgement	49
Appendix	50

第一章 绪 论

1.1 引言

随着社会的信息化发展，人类对信息的采集、传输、处理等要求愈加迫切。传感器作为采集信息的器件与人类的关系愈来愈密切。传感器技术是现代信息技术的重要组成部分，也是代表国家科技竞争力的核心技术之一。

光纤传感技术是现代传感器技术的一个重要分支，它随着光导纤维实用化和光通信技术的发展而逐渐形成。1966 年，英籍华裔科学家高锟（Charles Kao）博士发表了一篇具有里程碑意义的论文《用于光频率的介质纤维表面波导管》^[1]，高锟博士指出：将石英玻璃中的金属离子含量降低到 10^{-6} 以下，并且改进拉丝工艺，就可以使光纤的传输损耗下降到每公里几个分贝以下。1970 年，康宁公司（Corning Glass Corporation）根据高锟博士的理论，第一个制造出损耗小于 20dB/km 的光纤。在随后的十几年里，以光纤作为传输介质的光纤通讯就从实验室研制阶段，迅猛地发展成为通讯领域的一大产业。在光纤通讯系统中，光纤易受到诸如温度、压力等环境因素的影响，从而导致光强、相位、频率等光波参量发生变化，这对通信应用是不利的，而它却构成了一种全新的信息交换基础，进而演绎出光纤传感器这门新技术。自 1977 年美国海军研究所（NRL）开始执行光纤传感器系统（FOSS）计划以来^[2]，光纤传感器便开始在全球范围内受到广泛的重视与研究。近年来，光纤传感技术的发展十分迅速，显示出巨大的开发潜力和应用前景。

1.2 光学电流互感器的研究背景及意义

电力工业是国家经济建设的基础工业，在国民经济建设中有举足轻重的地位。近二十年来，我国国民经济迅猛发展，国民生产总值年平均递增 7% 以上，与此同时，我国的电力事业也取得了高速发展。《人民日报》消息：2006 年中国发电装机总容量达到 6.22 亿千瓦，同比增长超过两成；年发电量累计达到 28344 亿千瓦时，同比增长 13.5%，均高于国民经济发展速度。目前，我国发电装机容

量和年发电量均居世界第二位。根据“十一五”计划，到 2010 年，全国电力装机总容量将达 8.4 亿千瓦。随着对电能需求的不断增长，电力系统的输电线路和变电设备向更高的额定电压等级和更高的容量发展成为必然趋势。2006 年 11 月 17 日，国家发展和改革委员会以发改能源 [2006] 2576 号文件批复西北 750kV 兰州东至银川东、官亭至西宁输变电工程项目核准开工。它标志着国家正式同意开工建设西北 750kV 电网，这将使国内电网最高电压等级由目前的 500kV 提升到 750kV。

随着电力系统向大容量超高压方向发展，对电流、电压等的测量技术提出了更高要求，即要求测量设备有更好的性能指标和更高的安全可靠。由于电压等级日益提高，传统电磁式电流互感器（Current Transformer: CT）的缺点表现得越来越突出：

（1）有发生系统失效及灾难性事故的危险。充油 CT 在超高压环境有发生绝缘击穿引起对地短路或突然爆炸的可能，且如果互感器二次侧不慎开路，将会产生高压，对配电设备造成危害甚至危及人身安全。

（2）可能发生磁饱和现象。当被测电流异常增大时，互感器铁芯将出现磁饱和现象，使测量准确度严重下降。特别在短路等故障情况下，测量数据可能完全失效。

（3）频率响应差，对高压线路上的暂态过程不能正确反应。这是由于电磁感应式电流互感器是用铁芯制成的，对高频信号的响应特性较差。

（4）电磁干扰严重。因为 CT 工作时处于高压环境，对于高压及特高压电站来讲，占地面积都较大，因而传输二次侧电信号距离亦较远，电流信号通过导线传输时将可能受到严重的电磁干扰，使测量准确度下降。

（5）设备笨重导致运输和安装困难。CT 主要由铁芯、变压器油、铜导线以及绝缘介质组成，这些材料的体积和重量都较大，且设备工作于高压环境，要求在高、低压端之间提供复杂昂贵的电气绝缘，随着输配电网朝着高电压、大容量方向发展，不仅使高电压等级的 CT 变得越来越笨重，价格越来越昂贵，而且给运输和安装带来更大困难。CT 难以满足新一代电力系统对于在线监测、高精度故障判断、电力数字网的发展需要。因此，寻找更理想的电流测量技术成为当前电磁测量领域的热门课题。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库